

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra výrobních strojů a konstruování

Konstrukční návrh přídatné frézovací hlavy

Design of Auxiliary Cutter Head

Student:

Pavel Uherec

Vedoucí bakalářské práce :

Ing.Oldřich Učeň, Ph.D.

Ostrava 2013

Zadání bakalářské práce

Student: **Pavel Uherec**
Studijní program: **B2341 Strojírenství**
Studijní obor: **2302R010 Konstrukce strojů a zařízení**
Specializace: **70 Zemní, těžební a stavební stroje**
Téma: **Konstruční návrh přídatné frézovací hlavy**
Design of Auxiliary Cutter Head

Zásady pro vypracování:

V rámci bakalářské práce navrhnete variantní řešení přídatné frézovací hlavy pro 3-osý stroj umožňující rozšíření frézování o 4. a 5. osu a to v polohovacím režimu. Zařízení bude sestávat z mechanické upínací a polohovací části a z přídatného vysokootáčkového frekvenčního vřetena o výkonu 11 kW, kroutícím momentu 7,8 Nm a maximálních provozních otáčkách 30 000/min.

Vypracujte:

1. Technickou zprávu s popisem funkce navrhovaného zařízení se všemi nezbytnými výpočty.
2. Konstruční návrh přídatné frézovací hlavy.
3. Pevnostní kontrolu důležitých uzlů.
4. Detailní výrobní výkres vybrané součásti.

Seznam doporučené odborné literatury:

- MAREK, J. *Konstrukce CNC obráběcích strojů*. Vyd. 2, přeprac., rozš. Praha: MM publishing, 2010, 420 s. ISBN 978-80-254-7980-3.
- MAREK, J., UČEŇ, O. *CNC obráběcí stroje*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2010, 103 s. ISBN 978-80-248-2329-4.
- BRENÍK, P. *Obráběcí stroje. Konstrukce a výpočty: Konstrukce a výpočty*. 2. oprav. vyd. Praha: SNTL, 1986, 573 s.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Oldřich Učeň, Ph.D.**

Datum zadání: 14.12.2012

Datum odevzdání: 20.05.2013

doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 20.5.2013

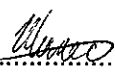


podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB - TUO) a Trimill a.s. mají právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO a Trimill a.s., v případě zájmu z jejich strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu užití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO a Trimill a.s. na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě : 10.5.2013


.....
podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Pavel Uherec

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Komenského 324,
Zlín-Malenovice, 763 02

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

UHEREC,P. Konstrukční návrh přídatné frézovací hlavy: Bakalářská práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra výrobních strojů a konstruování, 2013, 50 s. Vedoucí práce: Ing. Oldřich Učeň, Ph.D.

V mé bakalářské práci se zabývám konstrukčním návrhem přídatné frézovací hlavy pro 3-osé obráběcí centrum, umožňující rozšíření pracovních os stroje o 4. a 5. osu. V teoretické části jsou rozebrány základní informace týkající se frézování, frézovacích vřeten a frézovacích hlav. V druhé, praktické části mé práce se zabývám konstrukčním návrhem přídatné mechanické frézovací hlavy a jejich jednotlivých částí. Zařízení se skládá z přídatného vysokootáčkového vřetene od výrobce IMT a mechanické polohovací části. Konstrukce přídatné hlavy je provedena ve 2 variantách, které jsou v závěru práce porovnány. Následně je vyhodnoceno, které řešení je vhodnější pro použití v praxi.

ANOTATION OF BACHELOR THESIS

UHEREC,P. The construction design of additional milling head: Bachelor thesis. Ostrava: VSB – Technical university of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machine Parts and Mechanisms, 2013. 50 p. Thesis head: Ing. Oldřich Učeň, Ph.D.

My bachelor thesis deals with structural design of auxiliary cutter head for 3-axes machining centre, which allows extension of operational axes of machine to 4th and 5th axis. The theoretical part of this thesis analyzes basic information about milling, milling spindles and cutter heads. The following practical part of my thesis contains structural design of mechanical auxiliary cutter head and its individual parts. The device consists of an auxiliary high-frequency spindle made by IMT and the mechanical positioning part. The design is implemented in two variants whose comparison is to be found in the conclusion. Subsequently I have included an evaluation on which solution is suitable for use in real situation.

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat panu Ing. Oldřichu Učňovi, Ph.D., za cenné rady a připomínky při tvorbě mé práce. Dále chci poděkovat vedení firmy TRIMILL a.s. za poskytnutí spolupráce na bakalářské práci, především oddělení mechanické konstrukce a panu Josefu Gábovi, za poskytnutí konzultací a cenných rad. V neposlední řadě chci poděkovat svým rodičům za důležitou podporu v průběhu studia.

Obsah

Seznam použitých symbolů a značek	9
Úvod	11
1 Základní charakteristika tématu	12
1.1 CNC obráběcí centra	13
1.2 Pracovní osy obráběcích center	14
1.3 Vřetena obráběcích strojů	14
1.3.1 Požadavky kladené na vřetena obráběcích strojů	15
1.3.2 Tuhost vřeten	15
1.3.3 Uložení vřeten	16
1.3.4 Vřetena frézovacích strojů	16
1.3.5 Nástrojová rozhraní frézovacích vřeten	18
1.3.6 Vysokootáčková vřetena frézovacích strojů	19
1.4 Frézovací hlavy obráběcích center	19
1.4.1 Frézovací hlavy CyTec Systems [17]	20
1.4.2 Frézovací hlavy Zimmermann [18]	21
1.4.3 Frézovací hlavy Headtec [15]	23
1.4.4 Frézovací hlavy TOS Kuřim [19]	23
1.4.2 Patent přidavné frézovací hlavy fy DEPO	24
2 Konstrukční návrh přidavné frézovací hlavy	Chyba! Záložka není definována.
2.1 Popis zařízení	Chyba! Záložka není definována.
2.2 Základní konstrukční návrh – 1.varianta	Chyba! Záložka není definována.
2.3 Základní konstrukční návrh – 2.varianta	Chyba! Záložka není definována.
2.4 Statická a dynamická analýza	Chyba! Záložka není definována.
2.4.1 Statická a dynamická analýza – 1.varianta	Chyba! Záložka není definována.
2.4.2 Statická a dynamická analýza – 2.varianta	Chyba! Záložka není definována.

2.5 Srovnání obou konstrukčních variant, volba konstrukčního řešení.....	Chyba! Záložka není definována.
2.6 Výpočet základních konstrukčních uzlů zařízení [7,8]	Chyba! Záložka není definována.
2.6.1 Výpočet svěrného spojení č. 1	Chyba! Záložka není definována.
2.6.2 Výpočet svěrného spojení č. 2	Chyba! Záložka není definována.
3 Závěr	45
Seznam použité literatury	47
Seznam obrázků	49
Seznam tabulek	50
Seznam příloh	51

Seznam použitých symbolů a značek

a	vzdálenost působíště síly od osy naklápění	[mm]
A_S	průřez závitu šroubu	[mm ²]
d	průměr čepu	[mm]
d_S	střední průměr mezi d_0 a s	[mm]
d_0	průměr díry pro daný šroub	[mm]
d_2	střední průměr závitu šroubu	[mm]
d_3	malý průměr závitu šroubu	[mm]
D	průměr roztečné kružnice	[mm]
D_f	minimální průměr frézy	[mm]
f	součinitel tření stykových ploch	[-]
f_M	součinitel tření pod maticí resp. hlavou šroubu	[-]
f_Z	součinitel tření na závitech	[-]
F	normálová síla	[N]
F_O	síla v ose šroubu	[N]
F_{OB}	síla působící od obrábění	[N]
F_{SV}	svěrná síla působící tečně na hřídeli (čepu)	[N]
i	počet použitých šroubů	[-]
k_S	součinitel bezpečnosti proti prokluzu	[-]
k_{SR}	bezpečnost proti přetržení šroubu	[-]
l	délka svěrného spoje	[mm]
l_1	vzdálenost bodu A od osy šroubu	[mm]
l_2	vzdálenost bodu A od osy šroubu	[mm]
M_{OB}	moment síly od obrábění	[N.m]
M_{SV}	svěrný moment	[N.m]
M_{TM}	třecí moment pod maticí resp. hlavou šroubu	[N.m]
M_{TZ}	třecí moment na závitech	[N.m]
M_U	utahovací moment	[N.m]
p	měrný tlak působící na ploše spoje	[MPa]
P	rozteč závitu	[mm]
Ph	stoupání závitu	[mm]
R	poloměr roztečné kružnice umístění šroubů	[mm]
R_e	mez kluzu materiálu	[MPa]
R_f	minimální poloměr frézy	[mm]
R_m	mez pevnosti materiálu	[MPa]
s	rozměr pro klíč resp. průměr hlavy šroubu	[mm]
S_1	krouticí moment na výstupu vřetene	[N.m]
W_K	modul průřezu v krutu pro kruhový profil	[mm ³]

x	rameno síly od obrábění na svěrném spoji č. 2	[mm]
α	vrcholový úhel závitového profilu	[°]
β	úhel naklopení přídavného vřetene	[°]
π	konstanta-Ludolfovo číslo	[-]
σ_t	tahové natětí v jádře šroubu	[MPa]
σ_{red}^{HMH}	redukované napětí v jádře šroubu dle HMH	[MPa]
τ	napětí v krutu v jádře šroubu	[MPa]
φ'	úhel tření v závitové drážce	[rad]
ψ	úhel stoupání závitu	[rad]

Úvod

Firma Trimill a.s. byla založena v roce 2000 ve Zlínském kraji v České republice. Ve Zlínském kraji má výroba obráběcích strojů už svoji tradici, díky které je firmě umožněno využít základny kvalifikovaných odborníků v tomto odvětví strojírenského průmyslu. Díky své spolehlivosti si obráběcí centra firmy Trimill poměrně rychle vybudovaly svoje jméno a to nejen na českém trhu ale i v zahraničí, především v Německu. V současné době má firma otevřeny své pobočky i v Německu a Indii. Firma Trimill se specializuje na konstrukci a výrobu obráběcích center sloužících především pro výrobu lisovacích nástrojů, forem a zápustek. Díky provedení svých strojů jako tzv. „horní gantry“ s uzavřenou konstrukcí příčnicku a křížového suportu s uvnitř uloženým smýkadlem a frézovací jednotkou je možno dosáhnout vysoké dynamiky a vysoké přesnosti obráběných dílců. Stroje mají také vysokou produktivitu díky tomu, že hrubovací a dokončovací cykly obrábění jsou uskutečňovány na jedno upnutí obrobku (což má také zásadní vliv na přesnost obráběných dílců). V bakalářské práci se zabývám konstrukčním řešením přídavné mechanické frézovací hlavy pro 3-osé obráběcí centra (jako příklad uvádím stroj VC 2314), díky které by bylo možno rozšířit frézování o další 2 osy. Jde v podstatě o konstrukci přípravku, který bude připojitelný na stávající frézovací hlavu strojů, k němuž bude připevněno přídavné vysokootáčkové vřetení s vlastním přívodem energií. Frézovací hlava (přípravek) bude mít možnost otáčení kolem svislé osy, v praxi jde o osu „C“, a zároveň bude umožňovat naklápění čímž se docílí výše uvedených požadavků na rozšíření pracovních os strojů. Natáčení a naklápění přídavné frézovací hlavy bude prováděno za klidu stroje jeho obsluhou. Zajištění správné polohy natočení a naklopení budou zajišťovat svěrné spoje. Přínos mé práce by měl spočívat v tom, že bude možno nabídnout zákazníkům přídavnou frézovací hlavu jakožto příslušenství k 3-osým obráběcím centrům (obr.1) a tím jim zaručit všestrannost použití jimi zakoupených strojů pro výrobu strojních součástí.



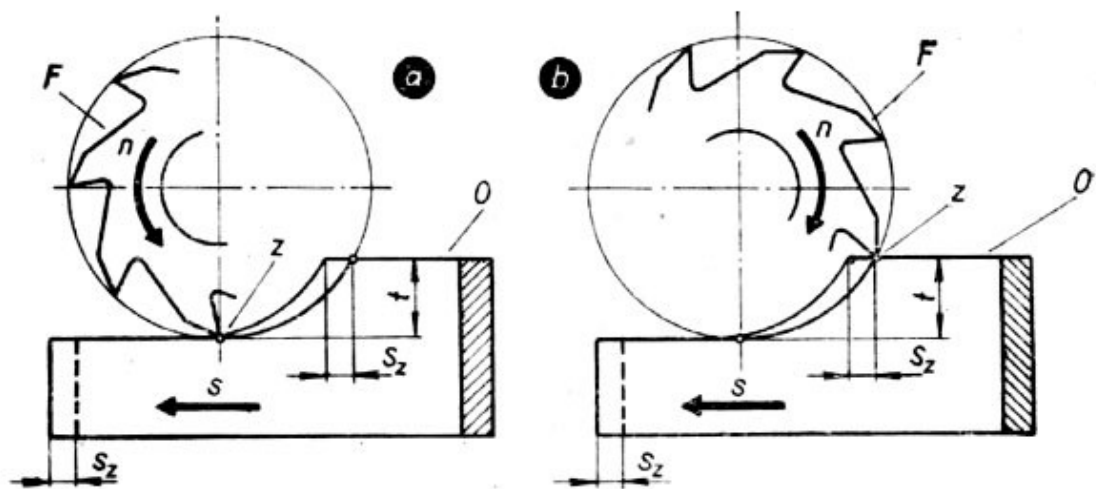
obr. 1 Obráběcí centra Trimill [10]

1 Základní charakteristika tématu

Frézování je technologický výrobní proces, který ve svém principu využívá mnohobřité pracovní nástroje, kde při obrábění jednotlivé zuby vcházejí do záběru a zase z něj vychází postupně. Z toho vyplývá, že průběh řezných sil a momentů na nástroji se při řezném procesu stále mění. Dle určitých hledisek lze frézování rozdělit na několik typů.

Podle směru hlavních řezných pohybů (hlavní řezný rotační pohyb, posuv) lze rozdělit frézování na:

- a) sousměrné (sousedné) frézování
- b) protisměrné (nesousedné) frézování

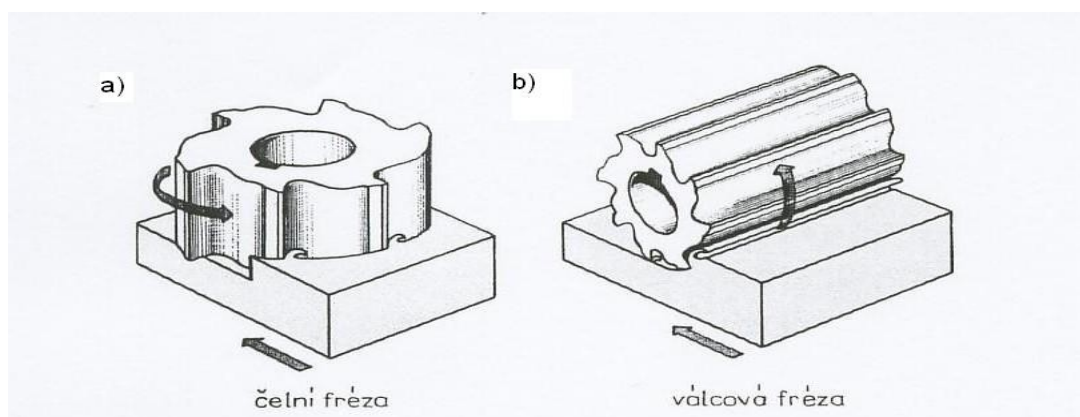


a - nesousedné frézování, b - sousledné frézování, F – fréza, O – obrobek, n – otáčení frézy, s – posuv obrobku, s_z – posuv na zub frézy, t – hloubka frézování, z – začátek záběru jednotlivých zubů frézy

obr. 2 Rozdělení frézování dle hlavních řezných pohybů [11]

Podle vzájemné polohy nástroje a obrobku lze frézování rozdělit na

- a) čelní frézování
- b) obvodové frézování



obr. 3 Rozdělení frézování dle polohy nástroje a obrobku
a) čelní frézování, b) obvodové frézování [12]

Rozdělení frézovacích strojů dle jejich konstrukce:



obr. 4 Rozdělení frézovacích strojů dle konstrukce [2]

1.1 CNC obráběcí centra

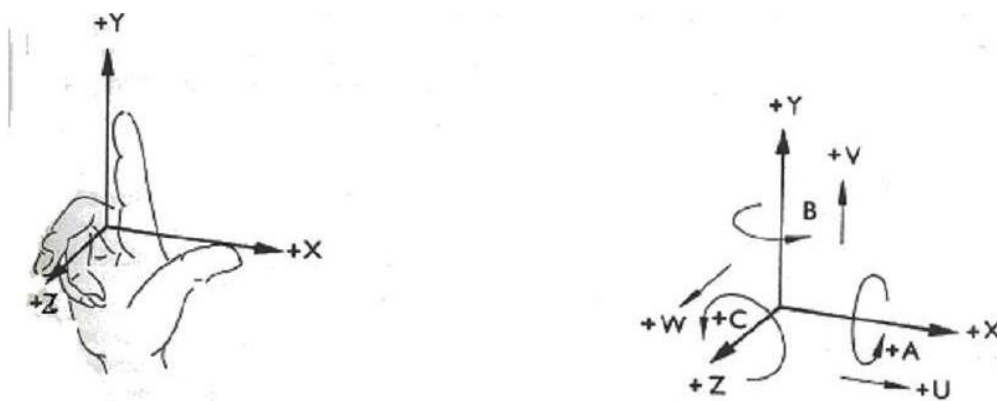
CNC obráběcí centra patří mezi jedny z nejvýkonnějších a nejrozšířenějších obráběcích strojů současné doby. Zkratka CNC je odvozena z anglického slovního spojení „Computer Numerical Control“ a je hojně užívána i u nás. Jde tedy o to, že stroj používá počítač a CNC řídicí systém k výrobě součástí dle předem připravených technologických postupů. Obráběcím centrem jsou nazývány stroje umožňující provádění víceosého vysokorychlostního obrábění a různých technologických operací (obr.5). Tyto stroje pracují převážně v automatickém cyklu a umožňují automatickou výměnu pracovních nástrojů, případně i obrobků. Jde tedy o stroj, na kterém lze z velké části a nebo úplně obrábět různé součásti pouze na jedno upnutí. Dle orientace osy otáčení rezného nástroje lze obráběcí centra rozdělit na horizontální a vertikální.[1]



obr. 5 Pohled do pracovního prostoru stroje Trimill VM 6525 [10]

1.2 Pracovní osy obráběcích center

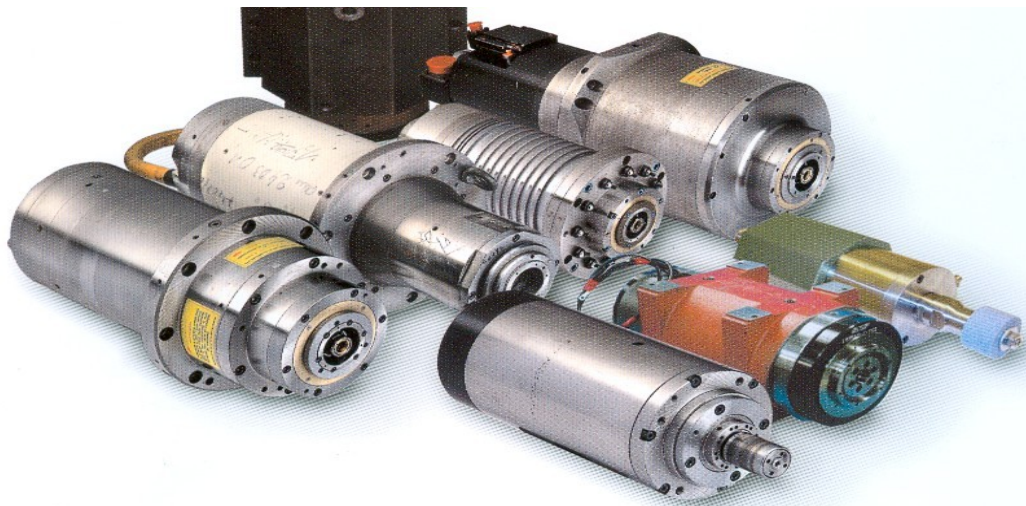
Obráběcí centra a jejich využití lze specifikovat podle počtu pracovních os, které jsou schopny při obráběcím procesu využít. Základním typem je tzv. 3-osý obráběcí stroj, který tedy využívá pro svou práci 3 základní osy dle kartézského souřadnicového systému a tedy osy X,Y,Z. Přičemž je ve většině případů osa X považována za podélnou osu posuvu, osa Y za příčnou osu posuvu a osa Z charakterizuje přísuv pracovního nástroje do záběru. V dnešní době jsou široce využívána tzv. více-osá obráběcí centra, která jsou doplněna o další pracovní osy jako například osy A, B, a C (viz obr.4).



obr. 6 Kartézský souřadnicový systém (vlevo), rozšíření o další pracovní osy [13]

1.3 Vřetena obráběcích strojů

Základním úkolem každého vřetena je zaručit obrobku (soustruh) nebo nástroji (frézka) co nejpřesnější rotační pohyb. Tento lze charakterizovat jako pohyb, při kterém se dráhy jednotlivých bodů na obvodu obrobku nebo nástroje liší od ideální kružnice pouze v přípustné toleranci. Přesnost tohoto rotačního pohybu má zásadní vliv na jak na kvalitu povrchu obrobených ploch, tak na vznik samobudících sil, které se přenášejí na stroj a tak nepříznivě ovlivňují jeho funkci. Vřeteno musí být také schopno dodat potřebný výkon a krouticí moment pro výrobní proces.[2]



obr. 7 Pohled na několik typů vřeten [14]

1.3.1 Požadavky kladené na vřetena obráběcích strojů

Jelikož je správná funkce vřeten velmi důležitá pro obráběcí procesy jsou na vřetena kladeny určité požadavky, které z hlediska konstrukce musí splňovat. Jsou to:

- Přesnost chodu – tato je charakterizována velikostí radiálního a axiálního házení
- Dokonalé vedení – vřeteno nesmí v závislosti na směru zatížení měnit v prostoru svoji polohu
- Tepelná stabilita – v průběhu práce se nesmí vřeteno nadměrně ohřívat, aby nedocházelo k zahřívání ložisek a s tím souvisejícím ztrátovým výkonem pohonu
- Maximální tuhost – deformace vřetena a následná změna jeho polohy mají nepříznivý vliv na kvalitu obrobku
- Dobré tlumení – vřeteno musí (alespoň v určitých frekvencích) zachycovat vibrace vznikající řezným procesem
- Vysoká dynamika – schopnost rychlého náběhu na maximální otáčky a zároveň schopnost rychlého zastavení [3]

1.3.2 Tuhost vřeten

Obecně je tuhost součástí nebo jejich skupin definována jako odpor proti deformaci a je dána poměrem zatěžující síly vůči deformaci. Při konstrukci vřeten obráběcích strojů má tuhost vřetene resp. předního konce vřetene zásadní vliv na kvalitu provedení a přesnost obráběné plochy. Z tohoto je patrné, že tuhost předního konce vřetene musí být co možná největší a zároveň jeho průhyb musí být minimální. Pro výpočet deformace vřetene je vhodné toto rozdělit na dvě části a to na část mezi ložisky a na přední část vyčnívající z vřeteníku. Obě tyto části mají své délky „L“ momenty setrvačnosti „J“. Dále je vhodné pokládat ložiska za dokonale tuhá umožňující naklápění. Celková deformace vřetene je taky ovlivněna deformacemi samotných ložisek. Hodnoty jejich tuhostí nebo poddajností by měly být známy od jejich výrobce a poté je možné obdobně určit jejich deformace za předpokladu dokonale tuhého vřetene. Deformace skříně resp. tubusu vřetene je nutno zjistit pro konkrétní případ, a jelikož jsou výpočty relativně složité je vhodné použít například metodu konečných prvků.

1.3.3 Uložení vřeten

ŠPřevážná většina vřeten u obráběcích strojů (cca 99%) je uložena do valivých ložisek. Jsou ovšem i další způsoby pro uložení vřeten jako například kluzná hydrodynamická ložiska, kluzná hydrostatická nebo aerostatická ložiska případně speciální typy uložení např.: uložení v magnetickém poli. Záleží na konkrétní situaci, použití stroje a taky na volbě konstruktéra, který určuje, jakým způsobem bude vřeteno uloženo. Správná volba ložisek pro uložení má stěžejní vliv na rotační (tedy hlavní řezný) pohyb vřetene. Přední část vřetene bývá uložena axiálně nehybně a zadní část většinou s možností osového posunutí a to z důvodu tepelné roztažnosti. Teplo vzniká řezným procesem a je držákem nástroje vedeno do vřetena. Při volbě uložení je třeba se držet několika následujících kroků (obr. 8). [2]

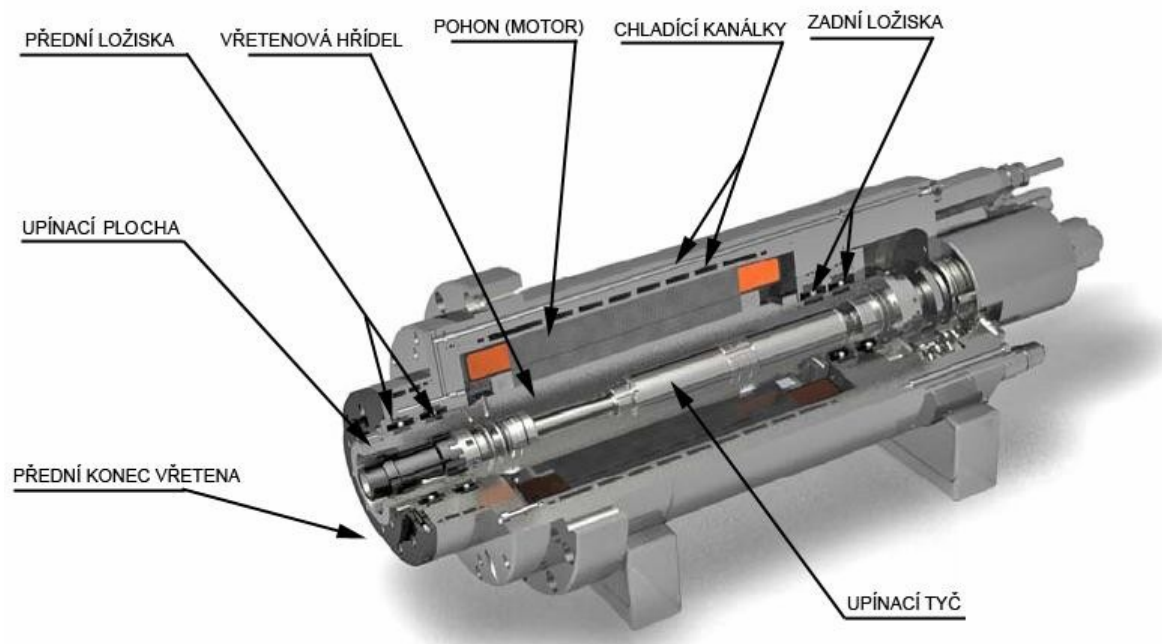


obr. 8 Postup při volbě uložení vřetene [2]

1.3.4 Vřetena frézovacích strojů

„Vřetena frézovacích strojů zprostředkovávají řeznou rychlost a zajišťují část relativního pohybu mezi nástrojem a obrobkem. Relativní pohyb mezi obrobkem a nástrojem potřebný k obrábění se skládá z posuvového pohybu, který je zajištěn posuvovým mechanismem stroje a pohybem řezným, který koná nástroj a je zajištěn právě vřetenem stroje. Úkolem vřetena je, aby byl tento otáčivý pohyb nástroje co nejpresnější, tedy aby se dráhy jednotlivých bodů nástroje co nejvíce blížily kružnici. Do vřetena se upíná nástroj, je tedy zřejmé, že přesnost vřetena má velký vliv na celkovou výrobní přesnost stroje. Vřeteno a jeho uložení musí být konstruováno dostatečně tuhé a přesné, aby bylo zaručeno klidné a přesné obrábění bez chvění.

Hlavní části vřetena jsou: vřetenová hřídel, ve které je upínací plocha pro upnutí nástroje, upínací mechanismus (ruční nebo automatický), pohon vřetena, přední a zadní ložiska, chladicí systém a u moderních vřeten diagnostické přístroje (senzor vibrací, teploty, otáček apod.). Na obrázku 3.1 je řez vřetenem výrobce Weiss s popisem jednotlivých částí. Jedná se o vřeteno s integrovaným elektromotorem (elektrovřeteno) v tubusu, což je vnější plášť.



obr. 9 Řez vřetenem Weiss

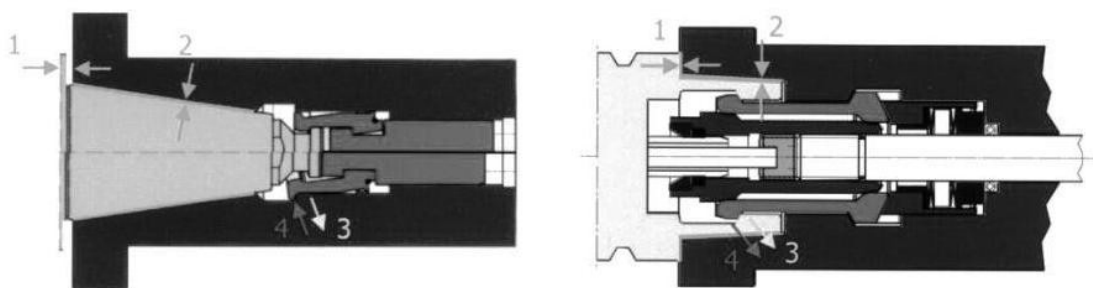
V praxi se setkáváme s různými požadavky na frézovací stroje potažmo na vřetena a jejich konstrukci. Typické obráběné materiály jsou běžné konstrukční oceli a litina, hliník a titan (nejčastěji používané v leteckém průmyslu), grafit a měď při výrobě elektrod pro vyjiskřování (výroba zápustek a forem), popřípadě i kalené oceli při frézování zápustek a forem atd. Uvedme například hrubování ocelových odlitků, při kterém je potřeba nižší otáčky, vysoký krouticí moment a velká hloubka třísky na rozdíl od frézování ocelových kalených zápustek, kde požadujeme vysoké otáčky nástroje a mnohonásobně menší hloubku záběru. Je tedy zřejmé, že z těchto důvodů existuje mnoho typů konstrukce vřeten, jejich uložení a typů pohonů.“ [4]

1.3.5 Nástrojová rozhraní frézovacích vřeten

V současné době je na trhu k dispozici několik typů normalizovaných, speciálních a různě konstrukčně upravených rozhraní pro upínání řezných nástrojů do vřeten. V této kapitole se budu věnovat 3 základním a hlavně nejpoužívanějším typům, jejichž konstrukce je normalizována. Jsou to:

- SK rozhraní – v Evropě taky označována „ISO“, v Asii „BK“
- HSK rozhraní – rozhraní se strmým kuželem
- Big-Plus rozhraní – kombinace SK a HSK

Dříve bylo standardní upínat nástroje za ISO nebo BK kužely. Principiálně a taky z hlediska vlastností upnutí se jedná o téměř stejné systémy upínání nástrojů. Vnější kuželová plocha nástrojového držáku dosedá na vnitřní kuželovou plochu v dutině vřetena a upínací síla je vyvozována osovým tahem. Z hlediska vlastností je tento systém dostačující pro běžné způsoby obrábění, ale není dostačující pro vyvíjející se vysokorychlostní obrábění, kde je důležitým parametrem tuhost spojení mezi vřetenem a držákem nástroje. Pro účely vysokorychlostního obrábění je daleko výhodnější použití HSK rozhraní u kterého dochází jak k dosednutí kuželových ploch 2, tak k dosednutí čelní plochy vřetene na držák nástroje 1. Tohle uspořádání velmi pozitivně ovlivňuje tuhost soustavy nástroj-vřeteno. Systém HSK je taky výhodnější z hlediska silových poměrů pro upnutí. U HSK působí odstředivá síla ve směru upínací síly a tím zvyšuje celkovou upínací sílu (čím vyšší otáčky, tím vyšší upínací síla), na rozdíl od ISO kde odstředivá síla celkovou upínací sílu snižuje. Další významnou výhodou rozhraní HSK je jeho menší rozměry, nižší hmotnost a tím pádem taky nižší moment setrvačnosti. Rozhraní HSK se vyrábí v šesti provedeních „A“–„F“.



obr. 10 Rozdíl mezi rozhraním ISO (vlevo) a rozhraním HSK [3]

Rozhraní Big-Plus jak bylo již výše uvedeno je kombinací ISO a HSK rozhraní. Jde v podstatě o upravené ISO kužely a zároveň upravené čelní plochy vřeten tak aby došlo k dosednutí i čelní plochy vřetene s držákem nástroje. Tím je docíleno toho, že kužely Big-Plus mohou být použity jak pro vřetena s rozhraním ISO, tak pro vřetena s rozhraním Big-Plus. [3]

1.3.6 Vysokootáčková vřetena frézovacích strojů

V dnešní době, kdy jsou při obrábění kladeny vysoké nároky na přesnost, kvalitu povrchu součástí a co nejkratší strojní časy, přišly v konstrukci frézovacích hlav obráběcích center na scénu tzv. vysokofrekvenční neboli vysokootáčková vřetena (High Frequency spindles). Tyto se ve většině aplikací používají pro hlavní frézovací vřetena a jsou charakteristické v tom, že mají ve většině případů integrovaný pohon a jsou nazývány jako tzv. elektrovřetena. Jako pohonné jednotky těchto vřeten se používají převážně velterově řízené asynchronní motory (pokud je značně omezen zástavbový prostor a je třeba dosažení lepších parametrů pohonu, lze použít i synchronní pohonnou jednotku). Vřetena frézovacích hlav bývají nejčastěji ukládána do valivých kuličkových ložisek s kosoúhlým stykem, kde se do obvodových rychlostí $1,5 \times 10^6$ mm/min používají klasická ložiska s ocelovými kuličkami a pro dosažení daleko vyšších obvodových rychlostí se používají hybridní ložiska s keramickými kuličkami. Hybridní ložiska jsou výhodné, jelikož keramické materiály špatně vedou teplo vznikající valivým třením a tím se zlepšuje tepelná stabilizace vřetene a zároveň jsou lehčí a tím je možno lépe dosáhnout vyšších otáček. Elektrovřetena jsou dále vybavena sofistikovanějším způsobem chlazení a mazání, obsahují integrované snímače pro diagnostické potřeby za chodu stroje a taky ve většině případů automatickou výměnnou nástrojů. [3]

1.4 Frézovací hlavy obráběcích center

Frézovací hlava (obr.11) je jednou z nejdůležitějších částí obráběcího centra a ve své podstatě jde o takové „srdce“ obráběcího stroje. U strojů v provedení tzv. horní gantry jde o vřetenovou jednotku (vřeteník), připojenou ke svislému suportu. Tato jednotka koná hlavní řezný pohyb rotační a v některých případech (u víceosých strojů) i vedlejší pohyby jako jsou natáčení (pohyb kolem osy „C“) či naklápění (pohyb kolem osy „A“ nebo „B“). Jako příklad uvádím různé druhy frézovacích hlav od několika známých výrobců a inovátorů v oblasti jejich výroby.



obr. 11 Frézovací hlavy [15,16]

1.4.1 Frézovací hlavy CyTec Systems [17]



obr. 12 Univerzální hlava řady G30

Univerzální frézovací hlava CyTec řady G 30 je určena pro těžké obrábění. Důležitým kritériem pro tohle použití je výhoda flexibilního natáčení vřeteníku pod úhlem 45 stupňů. Oblast její aplikace může být u 5-ti osých obráběcích center v leteckém i automobilovém průmyslu, jakož i v klasickém strojním obrábění.



Tato univerzální hlava řady M 21 poskytuje veškeré výhody výše uvedené hlavy řady G 30 avšak je určena pro všeobecné obrábění, nikoli pro těžký průmysl.



obr. 13 Univerzální hlava řady M21 s ukázkou několika pracovních poloh



obr. 14 Vidlicová hlava řady S8

Vidlicová hlava řady S8 je určena pro obrábění dílců malých rozměrů. Vzhledem k jejím rozměrům je určena pro frézovací operace ve stísněném prostoru nebo pro jemné obráběcí práce.



obr. 15 Vidlicová hlava G30

Vidlicová frézovací hlava řady G 30 je opět určena pro těžké obrábění v oblasti letectví, automobilového průmyslu ale i běžného strojního obrábění. Hlava je použitelná jak pro vertikální tak pro horizontální obráběcí centra a díky velmi přesnému radiálnímu i axiálnímu uložení vřetene je schopna dosahovat vysoké přesnosti (v závislosti na konstrukci samotného obráběcího stroje).



obr. 16 Vidlicová hlava G30 použitá u horizontálního stroje (vlevo) i vertikálního stroje (vpravo)

1.4.2 Frézovací hlavy Zimmermann [18]



obr. 17 Vidlicová hlava M3 ABC

Vidlicová frézovací hlava Zimmermann M 3 ABC má vysoce pevnou a kompaktní konstrukci umožňující otáčení ve 3 osách A, B i C a to ve velkém rozsahu. Je vybavena přímým optickým odměřováním ve všech osách a zároveň taky jejich polohovacím systémem.



obr. 18 Vidlicová hlava M3 ABC při práci (natočeny osy A,B i C)



obr. 20 Jednostranná hlava VH12

Frézovací hlava VH 12 je určena pro zvlášť obtížné úkoly. Díky vysoce tuhé konstrukci a uložení zachycujícím velké síly společně s velmi výkonným vřetenem a jejím jednostranným vedením jí umožňuje použití v místech se špatnou dostupností.



obr. 19 Další druhy hlav Zimmermann (zleva) VH6, VH30, VH1

1.4.3 Frézovací hlavy Headtec [15]



obr. 21 Několik druhů frézovacích hlav fy Headtec

1.4.4 Frézovací hlavy TOS Kuřim [19]



obr. 22 Frézovací hlavy fy TOS Kuřim

1.4.2 Patent přídavné frézovací hlavy fy DEPO

Přídavná frézovací hlava firmy DEPO je patentována, a jelikož jde o koncepčně velmi podobné zařízení, musím být při konstrukčním návrhu mé frézovací hlavy obezřetný, abych se vyhnul případným právním nesrovnalostem. Jde v podstatě o přípravek, který je možno upevnit k základní přímé frézovací jednotce a tím rozšířit spektrum pracovních os obráběcího centra. (Detailní informace o patentu jsou uvedeny v příloze A)



obr. 23 Přídavná frézovací hlava fy DEPO [20]

Následující text je předmětem průmyslové ochrany a je obsažen v technické zprávě, která bude poskytnuta u obhajoby bakalářské práce. Technická zpráva je uložena u vedoucího bakalářské práce a bude poskytnuta po předložení žádosti.

3 Závěr

Cílem mé práce bylo navrhnout variantní konstrukční řešení přídavné mechanické frézovací hlavy pro 3-osé obráběcí centra, což umožní těmto centrům rozšířit pracovní osy stroje o 4. a 5. osu. Byly navrženy 2 konstrukční varianty pro dané zařízení a následně provedena statická a dynamická analýza metodou konečných prvků (dále jen MKP) dle firemních zvyklostí. Analýza byla provedena v prostředí programu Autodesk Product Design Suite Ultimate 2013, který se ve firmě Trimill a.s. používá. Dle výsledných hodnot měrné tuhosti a hodnot vlastních frekvencí byla vybrána varianta č.2, tedy přídavná mechanická hlava oboustranně sklopná v rozmezí $-45^\circ \div +45^\circ$ a zároveň otočná v rozmezí $0^\circ \div 360^\circ$. Volba varianty byla provedena na základě hlavního požadavku na zařízení a tím je jeho tuhost, jelikož tuhost má zásadní vliv na kvalitu povrchu a přesnost vyráběných součástí. Pro zvolené konstrukční řešení byly dále provedeny pevnostní výpočty pro základní konstrukční uzly, které mají zásadní vliv na správnou funkci celého zařízení. Výpočty se tedy zabývají svěrnými spoji, které musí bezpečně přenést zatížení od obráběcího procesu. Na základě parametrů zadavatelem určeného přídavného vřetene a minimálního průměru řezného nástroje byla určena zatěžující síla působící na zařízení. Je nutno upozornit na fakt, že vypočtená síla je jen teoretická a v praxi takových hodnot nedosáhne a jde tedy o extrémní situaci, která je ovšem pro účely výpočtu vhodná. Tento fakt je dán tím, že výše vypočítané zatížení silou od obrábění by neunesl ani samotný průřez nástroje, ze kterého při výpočtu vycházím. Dále je vhodné podotknout, že přídavné vřeteno je určeno především (ne však jenom) pro dokončovací operace za účelem dosažení co možná nejnižší drsnosti povrchu. Pro takto charakterizovaný průběh práce je typické, že je odebírána minimální tříska a vřeteno se točí co nejvyššími otáčkami. Pro případné hrubovací operace by byl použit větší nástroj, tím by se zvětšilo rameno síly působící od obrábění a zatěžující síla by se zmenšila. Z informací o přídavném vřetenu, které jsou uvedeny v příloze C, je zřejmé, že se zvyšujícími se pracovními otáčkami klesá krouticí moment a tím pádem tedy klesá zatěžující síla. Samotné silové účinky vznikající při obrábění je možno snížit a to průběhem technologického procesu práce stroje. Tohle nastavení provádí technolog (programátor CAM softwarového vybavení stroje). Při obráběcím procesu vznikají rázy, způsobené postupným vnikáním břitů nástroje do materiálu. Právě kvůli těmto dynamickým účinkům, i když nejsou tak výrazné, byla zvolena dvojnásobná bezpečnost svěrných spojení. Zařízení bylo navrženo jako základní koncept, který však není určen k výrobě. Jde v podstatě prozatím jen o základní studii na dané téma a pro výrobu by bylo třeba provést další výpočty, které pro firmu Trimill a.s. provádí externí firma. Toto je dáno především faktem, že výsledky MKP analýzy ve výše uvedené softwaru nejsou zcela relevantní a ve firmě se provádějí pouze za účelem

zjištění orientačních hodnot tuhostí a následné modifikaci rozměrů, případně designu dané součásti. Aby se dané zařízení dostalo do výroby a následně i do prodeje bylo by třeba zjistit zda-li je o takové zařízení u zákazníků zájem. Dále by bylo třeba upravit design zařízení tak, aby odpovídal designu strojů. Pro praktické využití by bylo vhodné zařízení vybavit bezpečnostními prvky, které by v případě kolize (uvolnění svěrných spojů) zabránili, aby konzole přídatného vřetene vrazila do čelistí původního vřetene a tím způsobila škodu na stroji. Zařízení by se muselo podrobit zkouškám v provozu, jejichž výsledky by prozradily jeho případné nedostatky, které by se musely eliminovat. Tyhle aspekty projektů posuzuje vedení firmy.

Seznam použité literatury

- [1] VYPLAŠIL, J. *Návrh horizontální výměnné hlavy - VA1* –C. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 85 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Jan Sýkora.
- [2] MAREK, Jiří. *Konstrukce CNC obráběcích strojů*. Vyd. 2, přeprac., rozš. Praha: MM publishing, 2010, 420 s. ISBN 978-80-254-7980-3.
- [3] KOLÁŘ, Petr. *Vysokootáčková vřetena NC obráběcích strojů*. Praha, 2007.
Dostupné z: http://www3.fs.cvut.cz/web/fileadmin/documents/12135VSZ/download/PGS_stud/PGS-Teze_-_Kolar.pdf. Disertační práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní. Vedoucí práce Doc. Ing. Jaroslav Rybín, CSc.
- [4] IMRICH, D. *Konstrukce vřetene frézovacího stroje*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 80 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Petr Blecha, Ph.D.
- [5] Předepjatý šroubový spoj. *Mechanical, Industrial and Technical Calculations* [online]. 2003-2012 [cit. 2013-01-16]. Dostupné z: <http://www.mitcalc.cz/doc/boltcon/help/cz/boltcontxt.htm>
- [6] LEINVEBER, Jan. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření. 2. dopl. vyd.* Úvaly: ALBRA, 2005, 907 s. ISBN 80-736-1011-6.
- [7] SPŠ ZLÍN. *Stavba a provoz strojů: 1.díl*. 2.vydání. Zlín, 2006.
- [8] KALÁB, KVĚTOSLAV. *Části a mechanicky strojů: části spojovací*. 3. vyd. ostrava: VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2012. Dostupné z: <http://www.347.vsb.cz/files/kal01/skripta-castispojovaci.pdf>
- [9] T-PROM s.r.o., *hutní materiál, válcované a volně kované ocelové tyče: mechanické vlastnosti ocelí* [online]. 2006 [cit. 2013-04-11]. Dostupné z: <http://www.tprom.cz/tabulky/tabulka4.html>
- [10] *TRIMILL machine tool* [online]. 2008 [cit. 2013-04-18]. Dostupné z: <http://www.trimill.cz/>
- [11] 2. ZPŮSOBY FRÉZOVÁNÍ. *STROJÍRENSTVÍ - FRÉZOVÁNÍ* [online]. 2011 [cit. 2013-04-20]. Dostupné z: <http://strojirenstvi-frezovani.blogspot.cz/2011/03/2-zpusoby-frezovani-frezovani-rovinnych.html>
- [12] Frézování, způsoby. *Technologie + Fotoalbum 1* [online]. 2000-2008 [cit. 2013-04-20]. Dostupné z: http://www.tch.estranky.cz/fotoalbum/fotoalbum/frezovani_zpusoby/frezovani-valcovou-a-celni-frezou.jpg.html
- [13] *Střední škola technická Žďár nad Sázavou* [online]. 2006-2013 [cit. 2013-04-20]. Dostupné z: <http://sstzr.cz/index.php>
- [14] *Ložiska SKF, ZVL, ZKL, FBJ, TIMKEN: Exvalos s.r.o. - Lanškroun – ložiska* [online]. 2013 [cit. 2013-04-20]. Dostupné z: <http://www.exvalos.cz/>

- [15] *HEADTec* [online]. 2013 [cit. 2013-04-20]. Dostupné z: <http://www.rueckle-gruppe.de/en/rueckle-group/headtec/>
- [16] *Fermat machinery* [online]. 2013 [cit. 2013-04-20]. Dostupné z: <http://www.fermatmachinery.com/uvod>
- [17] *CyTec Systems UK Limited* [online]. 2013 [cit. 2013-04-20]. Dostupné z: http://www.cytecsystems-uk.com/cytecsystems_uk/cymill.htm
- [18] ZIMMERMANN. *Milling Machines* [online]. 2013 [cit. 2013-04-20]. Dostupné z: <http://www.f-zimmermann.com/index.php?id=664>
- [19] *TOS Kuřim* [online]. 2013 [cit. 2013-04-20]. Dostupné z: <http://www.tos-kurim.cz/>
- [20] *Www.depo.de - Universelles Maschinenzubehör* [online]. 2008 [cit. 2013-04-20]. Dostupné z: <http://www.depo.de/content/view/36/84/lang,/>
- [21] HEINZ, Deitert. *Obráběcí stroj* [patent]. užitný vzor, DE 9418 723 U1. Uděleno 25.11.1994.

Seznam obrázků

obr. 1 Obráběcí centra Trimill [10].....	11
obr. 2 Rozdělení frézování dle hlavních řezných pohybů [11]	12
obr. 3 Rozdělení frézování dle polohy nástroje a obrobku a) čelní frézování, b) obvodové frézování [12].....	12
obr. 5 Pohled do pracovního prostoru stroje Trimill VM 6525 [10]	13
obr. 4 Rozdělení frézovacích strojů dle konstrukce [2]	13
obr. 6 Kartézský souřadnicový systém (vlevo), rozšíření o další pracovní osy [13]....	14
obr. 7 Pohled na několik typů vřeten [14]	14
obr. 8 Postup při volbě uložení vřetene [2]	16
obr. 9 Řez vřetenem Weiss.....	17
obr. 10 Rozdíl mezi rozhraním ISO (vlevo) a rozhraním HSK [3].....	18
obr. 11 Frézovací hlavy [15,16].....	19
obr. 12 Univerzální hlava řady G30.....	20
obr. 13 Univerzální hlava řady M21 s ukázkou několika pracovních poloh	20
obr. 14 Vidlicová hlava řady S8.....	20
obr. 16 Vidlicová hlava G30 použitá u horizontálního stroje (vlevo) i vertikálního stroje (vpravo)	21
obr. 15 Vidlicová hlava G30	21
obr. 17 Vidlicová hlava M3 ABC.....	21
obr. 18 Vidlicová hlava M3 ABC při práci (natočeny osy A,B i C)	22
obr. 19 Další druhy hlav Zimmermann (zleva) VH6, VH30, VH1	22
obr. 20 Jednostranná hlava VH12.....	22
obr. 21 Několik druhů frézovacích hlav fy Headtec.....	23
obr. 22 Frézovací hlavy fy TOS Kuřim.....	23
obr. 23 Přídavná frézovací hlava fy DEPO [20].....	24
obr. 24 Základní konstrukce 1.varianty přídavné mechanické hlavy	Chyba! Zálůžka není definována.
obr. 25 Základní konstrukce 2.varianty přídavné mechanické hlavy	Chyba! Zálůžka není definována.
obr. 26 Umístění vazby	Chyba! Zálůžka není definována.
obr. 27 Pohled sítě.....	Chyba! Zálůžka není definována.
obr. 28 Deformace soustavy v ose X.....	Chyba! Zálůžka není definována.
obr. 29 Deformace soustavy v ose Y.....	Chyba! Zálůžka není definována.
obr. 30 Deformace soustavy v ose Z.....	Chyba! Zálůžka není definována.
obr. 31 1.vlastní frekvence soustavy	Chyba! Zálůžka není definována.
obr. 32 Deformace soustavy v ose X - maximální naklopení	Chyba! Zálůžka není definována.

obr. 33 Deformace soustavy v ose Y - maximální naklopení	Chyba!	Záložka	není definována.
obr. 34 Deformace soustavy v ose Z - maximální naklopení	Chyba!	Záložka	není definována.
obr. 35 1.vlastní frekvence soustavy – maximální naklopení	Chyba!	Záložka	není definována.
obr. 36 Umístění vazby	Chyba!	Záložka	není definována.
obr. 37 Pohled sítě.....	Chyba!	Záložka	není definována.
obr. 38 Deformace soustavy v ose X.....	Chyba!	Záložka	není definována.
obr. 40 Deformace soustavy v ose Z.....	Chyba!	Záložka	není definována.
obr. 39 Deformace soustavy v ose Y.....	Chyba!	Záložka	není definována.
obr. 41 1. vlastní frekvence soustavy	Chyba!	Záložka	není definována.
obr. 42 Deformace soustavy v ose X - maximální naklopení	Chyba!	Záložka	není definována.
obr. 43 Deformace soustavy v ose Y - maximální naklopení	Chyba!	Záložka	není definována.
obr. 44 Deformace v ose Z - maximální naklopení .	Chyba!	Záložka	není definována.
obr. 45 1. vlastní frekvence soustavy - maximální naklopení	Chyba!	Záložka	není definována.
obr. 46 Znázornění sil působících na svěrný spoj č. 1	Chyba!	Záložka	není definována.
obr. 47 Znázornění sil působících na svěrný spoj č. 2	Chyba!	Záložka	není definována.

Seznam tabulek

Tabulka 1 Fyzikální vlastnosti materiálů výpočtu....	Chyba!	Záložka	není definována.
Tabulka 2 Výsledné hodnoty deformací pro 2 polohy vřetene - varianta 1	Chyba!	Záložka	není definována.
Tabulka 3 Frekvenční hodnoty soustavy pro 2 polohy vřetene – varianta 1	Chyba!	Záložka	není definována.
Tabulka 4 Výsledné hodnoty deformací pro 2 polohy vřetene - varianta 2	Chyba!	Záložka	není definována.
Tabulka 5 Frekvenční hodnoty soustavy pro 2 polohy vřetene – varianta 2	Chyba!	Záložka	není definována.
Tabulka 6 Srovnání statické a dynamické analýzy obou variant	Chyba!	Záložka	není definována.

Seznam příloh

- [A] Patent přídatné frézovací hlavy DEPO
- [B] Určení součinitelů a veličin potřebných k výpočtu, vlastnosti materiálů
- [C] Technické parametry přídatného vysokootáčkového vřetene IMT
- [D] Výkresová dokumentace

Patent přídavné hlavy DEPO [21]**Číslo patentu:****Evropský patentový úřad - EP 0 713 749 B1****Popis patentu**

(0001) Vynález se vztahuje k obráběcímu stroji se stolem, na který se upíná obrobek naproti vřeteníku s nejméně jedním vřetenem směřujícím k obrobku, do kterého se upíná obráběcí nástroj.

(0002) K třískovému obrábění obrobků, které se zpravidla upínají na stůl obráběcího stroje, se zpravidla používá rotující nástroj, který je upnut ve vřetení s pohonem a obrobek se tak obrábí do požadované formy. Vřetení je upevněno ve vřeteníku umístěném naproti stolu stroje, v němž je umístěn pohon vřetene a přívody chlazení nástrojů. Vřeteník s vřetenem se mohou pohybovat směrem ke stolu nebo od stolu, aby se mohla nastavit hloubka obrábění. K obrábění se pro dosažení hrubého tvaru používají nejprve hrubovací nástroje, aby se následně s dokončovacími nástroji obrobil přesný tvar. Dokončovací obrábění se zpravidla provádí s vysokootáčkovými nástroji. Při tom je důležité, aby bylo s dokončovacím nástrojem možno dosáhnout na všechny strany obrobku, což normálně není s dosud známou konstrukcí možné. Obráběný povrch je zpravidla definovatelný pojezdem stolu stroje, což není pro všechny případy dostačující.

(0003) Stroj FR-A-2 528 745 je nástrojářský obráběcí stroj, u kterého je vřetení uloženo otočně mimo střed v držáku podobném křížovému suportu. Vřeteník je na straně obrácené ke stolu stroje vybaven otočným stolem s otočnou osou, jejíž střed je mimo osu osy Z. US-A-2 835 172 popisuje nástrojářský stroj se stolem pohyblivým ve třech rovinách, na který se upíná obrobek. Na straně k obrobku je navrženo vřetení upevněné na vřeteníku, na kterém je podélně posuvné, přičemž je vřeteník otočný kolem vertikální osy. Dále popisuje FR-A-2 694 720 nástrojářský stroj k broušení a leštění, se stolem, na kterém se upevňuje obrobek a proti kterému je umístěn vřeteník s pohonem s nejméně jedním vřetenem, do kterého se upíná nástroj k třískovému obrábění, a které směřuje na obrobek. Vřeteník je přitom uložen pohyblivě podél držáku nástrojů, který je vůči němu pohyblivý pravoúhle. Vřetena přitom směřují na obrobek v přestavitelných úhlech a jsou vůči obrobku stavitelná i výškově. Tak může být principem křížového stolu dosažena a obráběna každá strana obrobku, přesto jsou ale možnosti nasazení omezené.

(0004) Z toho vyplývá zadání vynálezu rozšířit možnosti nasazení nástrojářského obráběcího stroje tak, aby bylo možné hrubování i dokončovací obrábění z více stran na stroji, který je vyráběn jednoduše, ekonomicky a spolehlivě.

(0005) Zadání je splněno požadavkem 1, výhodnost řešení a provedení vynálezu je v zadání

(0006) Strana vřeteníku směrem k obrobku je tvořena otočným stolem, uprostřed kterého je centricky uloženo hlavní vřeteno. Na stole je excentricky upevněno další vřeteno. Hlavní centricky uložené vřeteno je přednostně určeno k hrubování nízkými otáčkami, dokončovací práce se provádí s excentricky uloženým vedlejším vřetenem, které je určeno na vysokootáčkové dokončovací práce. V něm se zpravidla používají nástroje se štíhlou stopkou, které umožňují obrábění hlubokých tvarů.

(0007) Excentricky uložené vřeteno je radiálně otočné a další velká výhoda je dána možností naklápění vůči otočné ose stolu. Vřeteno je možno naklápět ve směru osy stolu. Naklápění tvoří vidlicové uložení a další osu tvoří možnost otáčení (kolem centricky uloženého vřetene). Nástroj upnutý v držáku otočně naklápěcího vřetene může být naklopen až v rozsahu $\pm 90^\circ$ k ose Z tak, že v extrémním případě umožňuje obrábění i v horizontální poloze. Stolem s vřetenem včetně pohonu je možno vybavit stroj i dodatečně upevněním na sloupu stroje. Možnosti radiálního natáčení a naklápění vřetene rozšiřují možnosti pojezdu stroje, přičemž naklápění umožňuje obrábění jinak nepřístupných kapes. Kombinace obou možností umožňuje spektrum možností využití, které bylo u dosavadního uložení vřetene nemyslitelné.

(0008) Přesné polohování umožňují přednostně precizní pohony (např. s hirthovým ozubením a tuhými brzdami odolávajícím vzniklým silám). Při tom se používají zpřevodované motory, které jsou vybaveny samosvornou předřadnou převodovkou, nebo naklápěcím pohonem s automatickým zpevněním. Automatické zpevnění zajišťuje udržitelnost zvolené polohy.

(0009) Dále je výhodné, pokud je pohon otáčení excentrického vřetene v radiálním směru realizován krokovými motory nebo AC-motory. Kombinace těchto pohonů s CNC-řídícím systémem stroje umožňuje přesné obrábění obrobků, přičemž mohou být na jednom stroji hrubovány i dokončeny bez nutnosti přemístění na jiný stroj.

(0010) Podstata vynálezu je přesněji znázorněna figurami č. 1 a 2 na prováděcích příkladech přičemž ukazuje

- Fig. 1: bokorys nástrojářského obráběcího stroje schematicky
- Fig. 2: bokorys nástrojářského obráběcího stroje dle fig.1, vřeteno naklopeno o 180°
- Fig. 3: bokorys nástrojářského obráběcího stroje s vřetenem a centrickým vřetenem schematicky

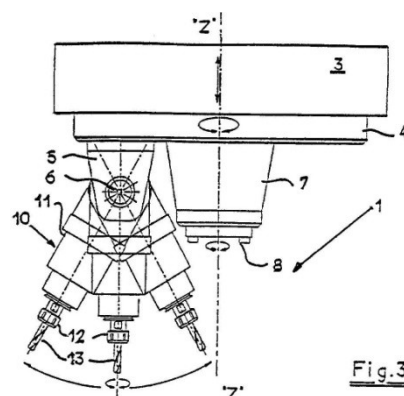
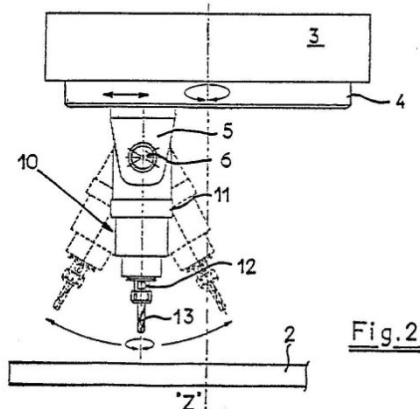
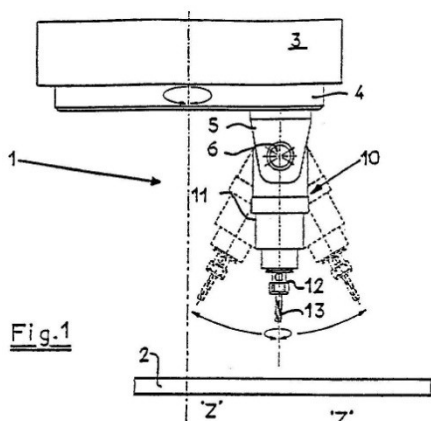
(0011) Nástrojářský obráběcí stroj znázorněný ve figurách 1 a 2 znázorňuje stůl stroje 2, na který se běžnými upínkami upíná obrobek (nezobrazený). K třískovému obrábění obrobku je určeno vřeteno 10, které je umístěno na otočném stole 4 a který je upevněn na spodní straně vřeteníku 3. Ve vřeteníku je umístěn (neznázorněný) pohon vřetena 10, v jehož čele 12 je upnut obráběcí nástroj, zde frézovací vrták 13, který je otáčen pohonem. Těleso vřetene 11 drží čelo vřetene 11 v požadovaném odstupu od spodní strany otočného stolu 4. Přitom je buď celý vřeteník 3 nebo vřeteno 10, případně i s vidlicovým uložením pojízdny směrem ke stolu 2 nebo od něj. Aby bylo vřeteno možno naklápět, je otočný stůl sklopný o centrickou osu Z. Vidlicové uložení drží těleso vřetene, které je kolem čepu 6 sklopné tak, že špička obráběcího nástroje provádí pohyb, který probíhá v radiálním směru k ose otočného stolu 4. Přitom se jeví jako samozřejmé, že toto vidlicové uložení 5 je realizováno tak, že pohon vřetene není rušen (otočný pohyb nástroje 13 se přenáší z vřeteníku k čelu vřetene přes hřídel 11) zdvojeným uložením 6. Pokud se otočný stůl 4 naklopí kolem otočné osy Z, naklápí se i vřeteno 10, jak je znázorněno ve fig. 2 pro úhel naklopení 180°. Pokud se s vidlicovým uložením 5 pojíždí na rádiu otočného stolu 4 (například dle dvojité šipky na fig. 2), může se s nástrojem upnutým na čele vřetena dosáhnout množství koordinátů, které jsou pro nástroj upnutý v centricky uloženém vřetenu nedosažitelné a přitom jsou jednotlivé možnosti pohybu znázorněny zakreslenými dvojitými šipkami.

(0012) Figura 3 ukazuje nástrojářský obráběcí stroj vybavený známým centricky uloženým vřetenem (znázorněno zkráceně), jehož čelo 8 může být opatřeno nástrojem na třískové obrábění (neznázorněno). Stroj v tomto provedení 1 může být použit s nástrojem upnutým v centricky uloženém vřetenu 7, přičemž jsou zde znázorněny jednotlivé možnosti pohybů znázorněny dvojitými šipkami – figury 1 a 2. Dále je také možno použít vřeteno excentricky uložené vůči ose Z. Rovněž je myslitelné kombinované použití obou vřeten.

Patentové nároky:

1. Nástrojářský obráběcí stroj se stolem stroje, na který se upíná obrobek s vřeteníkem (3) uloženým proti obrobku s nejméně jedním vřetenem (7,10) do kterého se upíná nástroj na třískové obrábění (13), směřujícím ke stolu stroje (2), přičemž je strana vřeteníku (3) obrácená směrem k obrobku tvořena osou Z s otočným stolem (4) v jehož středu je centricky uložené vřeteno (7), jehož otočná osa je shodná s osou Z otočného stolu (4) směřující na stůl stroje (2). Mimo střed otočného stolu (4) je excentricky upevněno vřeteno (10).
2. Nástrojářský obráběcí stroj dle článku 1, vyznačující se tím, že excentricky uložené vřeteno (10) je možno naklápět ve směru radiusu.

3. Nástrojářský obráběcí stroj dle článku 1 a 2, vyznačující se tím, že excentricky uložené vřeteno (10) je možno natáčet radiálně.
4. Nástrojářský obráběcí stroj dle článku 1, vyznačující se tím, že excentricky uložené vřeteno (10) je upevněno ve vidlicovém uložení (5) a je sklopné na otočném čepu (6)
5. Nástrojářský obráběcí stroj dle článku 4, vyznačující se tím, že vidlicové uložení 5 je otočně upevněno na otočném stole (4)
6. Nástrojářský obráběcí stroj dle článku 1-5, vyznačující se tím, že pohon naklápění a/nebo otáčení excentrického vřetene (6) je realizován předřadnou převodovkou s automatickou brzdou, přednostně s hirthovým ozubením
7. Nástrojářský obráběcí stroj dle článku 1-6, vyznačující se tím, že naklápění a/nebo otáčení excentrického vřetene (6) je realizováno krokovými motory nebo AC-motory řízenými CNC řídicím systémem
8. Nástrojářský obráběcí stroj dle článku 1-7, vyznačující se tím, že excentricky uložené vřeteno (10) je vysokootáčkové
9. Nástrojářský obráběcí stroj dle článku 1-8, vyznačující se tím, že ve středu otočného stolu 4 je uloženo druhé centrické vřeteno (7) směřující v ose Z ke stolu stroje (2), jehož osa je shodná s osou stolu (4)
10. Nástrojářský obráběcí stroj dle článku 9, vyznačující se tím, že centricky uložené vřeteno (7) je provedeno jako nízkootáčkové



Volba součinitele smykového tření na závitech

Velikost součinitele tření v závitech závisí na materiálu, drsnosti, úpravě povrchu a úhlu sklonu boku závitu. Orientační hodnoty součinitele tření pro ostrý závit jsou uvedeny v tabulce. U plochých závitů bývá součinitel tření mírně nižší. Dle tabulky 1 níže, volím součinitele tření na závitech $f_z=1,2[-]$. [5]

Tab. 1 Součinitele smykového tření pro různé druhy povrchů a nemazaný závit

Vnější závit ocelový	Vnitřní závit			
	Ocelový neupravený	Ocelový zinkovaný	Šedá litina	Al slitiny
Neupravený	0.12 ... 0.18	0.14 ... 0.20	0.12 ... 0.18	0.12 ... 0.23
Fosfátovaný	0.12 ... 0.18	0.14 ... 0.20	0.12 ... 0.18	0.12 ... 0.23
Pozinkovaný	0.14 ... 0.23	0.14 ... 0.25	0.12 ... 0.19	0.14 ... 0.23
Kadminovaný	0.09 ... 0.14	0.10 ... 0.16	0.09 ... 0.14	0.09 ... 0.15
Odmaštěný	0.19 ... 0.25	0.19 ... 0.25	0.19 ... 0.25	0.19 ... 0.25

Volba součinitele smykového tření pod maticí (hlavou šroubu)

Velikost součinitele tření pod hlavou šroubu resp. maticí závisí na materiálu matice a sevřených částí, drsnosti, úpravě povrchu a mazání. Orientační hodnoty součinitele tření pro ocelovou hlavu šroubu (matici) jsou uvedeny v tabulce. Dle tabulky 2 níže, volím součinitele tření pod maticí resp. hlavou šroubu $f_m=0,14[-]$. [5]

Tab. 2 Hodnoty součinitele tření pod maticí pro různé úpravy povrchu

Hlava šroubu (matice)	Materiál sevřených částí			
	Ocel	Ocel pozinkovaná	Šedá litina	Al slitina
Neupravená suchá	0.10 ... 0.18	0.10 ... 0.18	0.12 ... 0.20	-
Fosfátovaná suchá	0.10 ... 0.18	0.10 ... 0.18	0.12 ... 0.20	-
Pozinkovaná suchá	0.10 ... 0.20	0.16 ... 0.22	0.10 ... 0.20	-
Neupravená mazaná	0.08 ... 0.15	0.08 ... 0.15	0.08 ... 0.16	0.08 ... 0.20
Fosfátovaná mazaná	0.08 ... 0.15	0.08 ... 0.15	0.08 ... 0.16	0.08 ... 0.20
Pozinkovaná mazaná	0.09 ... 0.18	0.09 ... 0.18	0.10 ... 0.18	-

Volba součinitele tření mezi spojovanými plochami

Velikost součinitele tření mezi spojovanými plochami závisí na materiálu spojovaných částí, drsnosti, úpravě povrchu a odmaštění spojovaných ploch. Dle tabulky 3 níže volím součinitele tření mezi spojovanými plochami $f=0,12[-]$. [5]

Tab. 3 Hodnoty součinitele tření mezi spojovanými plochami pro různé povrchy a různé kombinace materiálů

Povrchová úprava	Materiál sevřených částí			
	Ocel na oceli	Ocel na litině	Litina na litině	Al slitiny
Opracované odmaštěné plochy	0.12 ... 0.18	0.15 ... 0.25	0.18 ... 0.25	0.08 ... 0.15
Plochy bez povrchové úpravy	0.15 ... 0.25	0.18 ... 0.30	0.20 ... 0.30	0.12 ... 0.20
Opálené plochy	0.35 ... 0.55			-
Plochy otryskané pískem	0.45 ... 0.55			-

Volba materiálu pro jednotlivé komponenty zařízení

Pro čepy,svěrné náboje, konzole volím materiál **15260.6**. Jde o konstrukční ocel určenou k zušlechťování. Použití je vhodné pro velmi namáhané součástky jako jsou např.:hřídele,čepy,poloosy,pístnice atd. Pro pevnou a otočnou přírubu volím materiál **12060.6**. tato konstrukční ocel je opět určena k zušlechťování a taky povrchovému kalení. Vhodná pro součásti jako hřídele,čepy,ozubené věnce, vřetena. Materiály byly zvoleny na základě firemních zvyklostí a konzultaci s firemními konstruktéry.

Mechanické vlastností zvoleného materiálu

Tab. 4 Mechanické vlastnosti materiálů [9]

Jakost oceli	Tepelné zpracování	Průměr [mm]	Nejmenší mez kluzu Re [MPa]	Pevnost v tahu Rm [MPa]
12060	.1	do 300	345	min. 600
	.6	do 300	365	min. 660
	.9	do 300	345	min. 640
	.9	do 500	325	min. 630
	.9	do 1000	305	min. 610
15260	.6	do 300	590	785 - 980

Mechanické vlastnosti materiálů šroubů

Materiál byl zvolen pro oba šrouby stejný a to jakost 12.9. Jakost šroubů byla vybrána na základě výpočtu osových sil v jednotlivých šroubech, a jelikož jsou hodnoty osových sil relativně vysoké, bylo třeba zvolit kvalitní materiál, který toto zatížení unese. Této jakosti odpovídají následující parametry důležité pro pevnostní kontrolu šroubů.

$$12 = \frac{R_m}{100} \rightarrow R_m = 12 \cdot 100 = \mathbf{1200\ MPa} \quad [1]$$

$$9 = \frac{R_e}{R_m} \cdot 10 \rightarrow R_e = \frac{9 \cdot R_m}{10} = \mathbf{1080\ MPa} \quad [2]$$

 MOLD 11










M9

 **IMT**
— MOLD —

PRODUKTBESCHREIBUNG

Leistung S6 40%	15,0 kW ab 13.500 min-1
Leistung S1 100%	11,0 kW ab 13.500 min-1
Drehzahl	bis 30.000 min-1
Durchmesser	126 mm
Spindelgehäuse	rostfreier Stahl
Werkzeugspannsystem	HSK - C40

FEATURES

-  Austauschbare Welleneinheit
-  justierbare Luftdüsen
-  MMS nachrüstbar
-  Auswechselbare Maschinenaufnahme
-  Keramik Kugellager
-  Lager-Fettschmierung
-  Sperrluft
-  Flüssigkeitskühlung
-  Motor-Temperaturüberwachung

Erhältliches Equipment:

Adapterkegel, Welleneinheit, Versorgungseinheiten, Versorgungsleitungen, Frequenzumrichter, Kühleinheit, Minimalmengenschmiereinheit, Werkzeugaufnahmen, Spannzangen, Verlängerungsdüsen, etc.


 **IMT**
— www.imt.de —
Made in Germany

TECHNISCHE DATEN

Motorangaben

Motortyp	asynchron
Polzahl	4
Drehzahlbereich (U/min) max.	30.000
Leistung S1/S6 40% (kW)	11,0 / 15,0
Drehmoment S1/S6 40% (Nm)	7,8 / 10,6
Frequenzbereich (Hz) max.	1000
Max. Spannung (Volt)	380
Nennstrom S1/S6 40% (Amp.)	25 / 33
Maximalstrom (Amp.)	40

Lagerangaben

Lagerart	Hybridkeramik
Lageranzahl	4
Lagerschmierung	Fett
Lagertemperaturüberwachung	-
Empf. Sperrluftdruck (bar)	1 - 2
Sperrluftverbrauch (l/min)	80

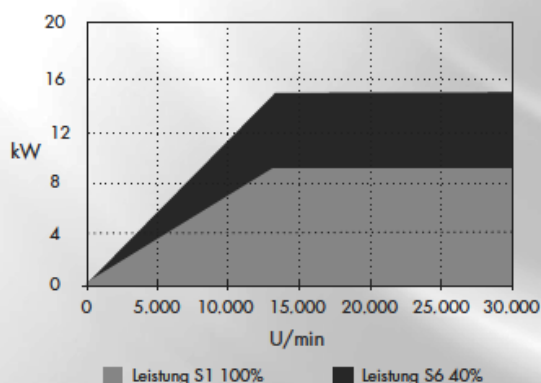
Spindelwellenangaben

Rundlaufgenauigkeit	
- Planlauf (µm)	< 1
- Innenkegel (µm)	< 2
Wuchtgüte	G 0,4
Vibration (mm/s)	< 1
Statische Axialsteifigkeit (N/µm)	71
Statische Radialsteifigkeit (N/µm)	152

Werkzeugaufnahme

Werkzeugspannsystem	HSK - C40
Werkzeugwechseldruck (bar)	-
Kegelreinigungsdruck (bar)	-
Max. Werkzeugspanndurchmesser (mm)	16

Leistungsangaben



Werkzeugüberwachung (ATC)

Anzahl der Sensoren	-
Art der Sensoren	-
Überwachte Stellungen	
- gespannt	-
- gelöst	-
- ohne Werkzeug gespannt	-

Spindelkühlung

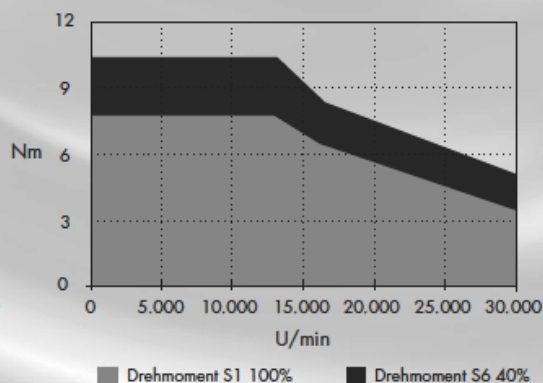
Art der Kühlung	Flüssigkeit
Erforderl. Kühlleistung (kW)	1,5 - 2,0
Kühlmitteltemperatur (°C)	20 ± 2
Max. Kühlmitteldruck (bar)	3

Spindelanschlüsse

Motorschnittstelle	3/12 - pol
Werkzeugüberwachung	-
Drehgeberanschluss	-
Kühlanschlüsse	Steckkupplung absperrend 2 x Ø 10mm (1/4")
Sperrluftanschluss	Steckkupplung absperrend 1 x Ø 6mm (1/4")
Werkzeugwechselanschluss	-
Kegelreinigungsanschluss	-
Luftdüsen - Anschluss	Zweiphasen- kupplung (1/4")

Spindeldurchmesser (mm)	126
Spindelbefestigung	- Adapterkegel - Flansch
Gewicht (kg)	ca. 17

Drehmomente



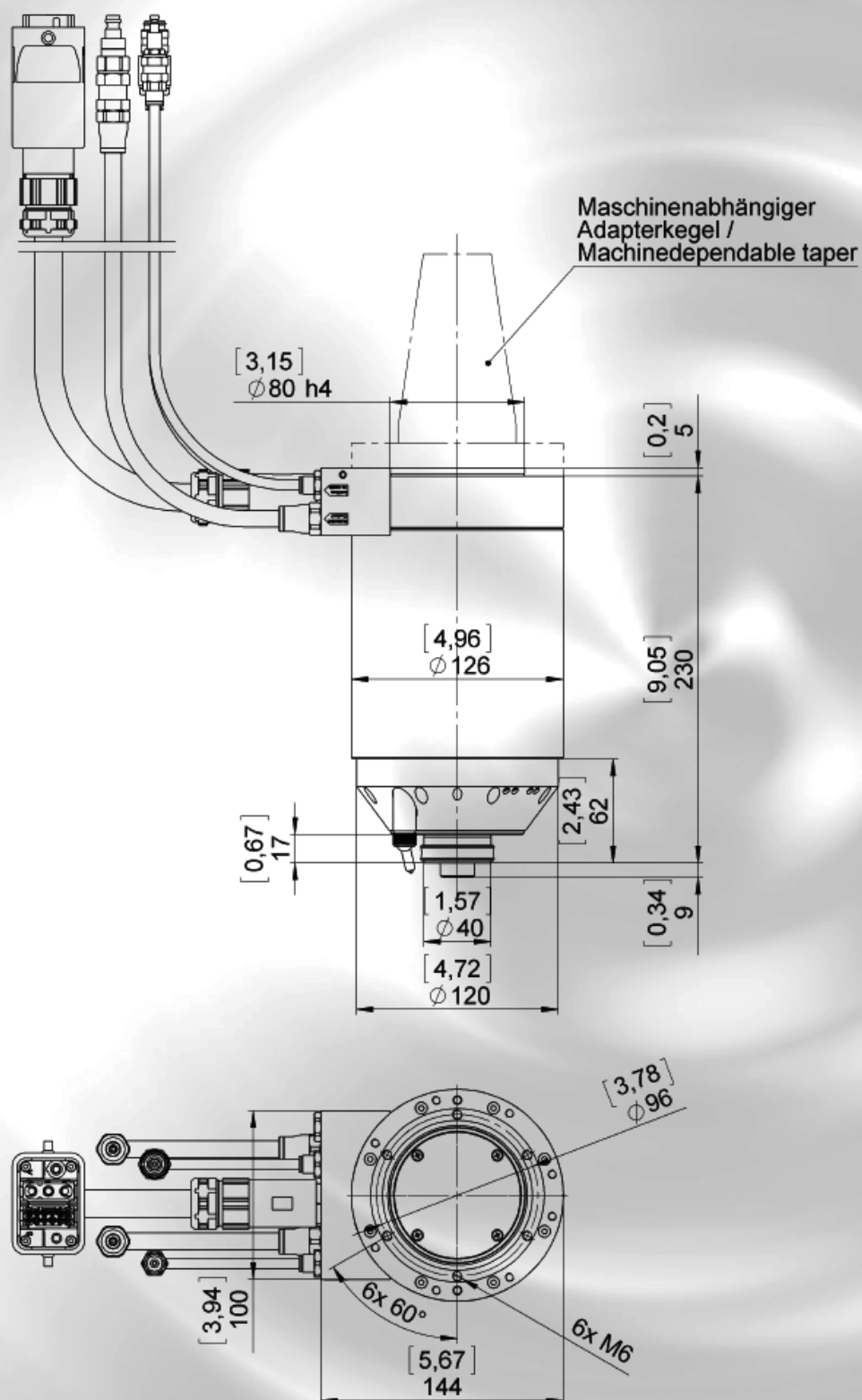
 MOLD 11

M9



— MOLD —

MAßZEICHNUNG
DIMENSIONAL DRAWING



 MOLD 11

M9

 **IMT**
— MOLD —

Spindelanschlüsse Spindle connections

- 1 Leistungsstecker 3/12-pol
Power connection 3/12-pin
- 2 Stecker Werkzeugüberwachung /
ATC control plug
Nicht vorhanden / not available
- 3 Luftdüsenanschluss
Air nozzle connection
- 4 Kegelreinigungsanschluss
Taper air purge connection
Nicht vorhanden / not available
- 5 Kühlmittelanschluss Vorlauf
Coolant connection forward flow
- 6 Kühlmittelanschluss Rücklauf
Coolant connection return flow
- 7 Sperrluftanschluss
Air seal connection
- 8 Werkzeugwechselanschluss
Tool change connection
Nicht vorhanden / not available

